

**ANALISIS PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN TERHADAP
EFISIENSI TRANSFORMATOR DISTRIBUSI DI PT. PLN (PERSERO)
RAYON PALUR KARANGANYAR**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I pada Studi
Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta**

Oleh:

AHMAD EKO YULI SAPUTRO

D 400 140 112

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2018**

HALAMAN PERSETUJUAN

**ANALISIS PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN TERHADAP
EFISIENSI TRANSFORMATOR DISTRIBUSI DI PT. PLN (PERSERO)
RAYON PALUR KARANGANYAR**

PUBLIKASI ILMIAH

oleh:

AHMAD EKO YULI SAPUTRO

D 400 140 112

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen Pembimbing



Agus Supardi S.T.M.T

NIK.883

HALAMAN PENGESAHAN
ANALISIS PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN TERHADAP
EFISIENSI TRANSFORMATOR DISTRIBUSI DI PT. PLN (PERSERO)
RAYON PALUR KARANGANYAR

OLEH
AHMAD EKO YULI SAPUTRO

D 400 140 112

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari Rabu, 18 Juli 2018
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji:

1. Agus Supardi S.T,M.T
(Ketua Dewan Penguji)
2. Umar S.T,M.T
(Anggota I Dewan Penguji)
3. Aris Budiman S.T,M.T
(Anggota II Dewan Penguji)

(.....)
(.....)
(.....)

Dekan,



Ir. Sri Sunarjono, MT., PhD

NIK. 682

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam naskah publikasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 16 juli 2018

Penulis



AHMAD EKO YULI SAPUTRO

D 400 140 112

ANALISIS PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN TERHADAP EFISIENSI TRANSFORMATOR DISTRIBUSI DI PT. PLN (PERSERO) RAYON PALUR KARANGANYAR

Abstrak

Meningkatnya pembangunan di seluruh wilayah Indonesia membuat permintaan energi listrik menjadi melonjak. Oleh karena itu pendistribusian energi listrik dari gardu induk ke konsumen diusahakan agar stabil, berkelanjutan dan dapat memenuhi kebutuhan konsumsi energi listrik. Dalam proses penyaluran energi listrik sering kali terjadi pembagian beban yang tidak merata pada setiap fasanya. Ketidakseimbangan beban ini selalu terjadi karena adanya ketidaksamaan dalam pemakaian energi listrik. Ketidakseimbangan fasa R,S,T inilah yang akan menimbulkan arus yang mengalir pada penghantar netral transformator, lalu arus tersebut menyebabkan terjadinya rugi-rugi daya pada transformator. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar rugi-rugi daya yang terjadi akibat ketidakseimbangan, untuk mengetahui pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap efisiensi transformator distribusi, dan agar dapat mengantisipasi supaya ketidakseimbangan beban dapat diminimalisir di PT. PLN (Persero) Rayon Palur Karanganyar. Metode yang digunakan adalah pengumpulan referensi dari jurnal-jurnal yang berhubungan dengan judul yang diambil. Setelah pengumpulan referensi kemudian dilanjutkan dengan pengambilan data penelitian yang diperoleh dengan cara mengikuti prosedur dari pihak instansi. Tahapan selanjutnya adalah melakukan perhitungan dan menganalisis pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap efisiensi transformator tersebut. Setelah dilakukan perhitungan dan dianalisis dapat disimpulkan bahwa ketiga transformator dalam keadaan tidak seimbang. Efisiensi transformator tertinggi terjadi pada transformator kedua ketika siang hari yaitu sebesar 97,51%, dan efisiensi transformator terendah terjadi pada transformator pertama ketika malam hari yaitu sebesar 94,90%. Ketika ketidakseimbangan beban semakin tinggi maka rugi-rugi daya pada transformator juga semakin besar, dan efisiensinya semakin rendah.

Kata Kunci: Transformator Distribusi, Ketidakseimbangan Beban, Efisiensi

Abstract

Increasing development in all regions of Indonesia makes the demand for electrical energy to become soaring. Therefore the distribution of electrical energy from the substation to the consumers should be stabilized, continuous, and able to fulfill the needs of electrical energy consumption. In the process of electrical energy distribution, there is often an uneven distribution of load on each phase. This load imbalance always occurs due to the inequality in the use of electrical energy consumption. The imbalance phase of R, S, T will cause current flow in the neutral conductor of a transformer, then the current cause of occurrence of loss of the power transformer. This research was conducted to find out how big a power loss that occurs due to an imbalance, to know the impact of the unbalance load against the efficiency of distribution transformer, and to be able to anticipate so the unbalance load can be minimized at PT. PLN (Persero) Rayon Palur Karanganyar. The method used is the accumulation of references from journals that are associated with the title that was taken. After collecting a reference then proceed with the taking of the research data obtained by following the procedures of the institue. The next stage is to perform calculations and analyze the impact of the unbalance load against the efficiency of a transformer. After the calculation and analyzed it can be concluded that the three transformer in a unbalanced state. The highest transformer efficiency occurs at a second transformer when during the day time that is equal to 97.51%, and lowest transformer efficiency occurs at night time when the first transformer that is equal to 94.90%. When the higher of load

imbalance, then the loss of the power transformer are also getting bigger, and the efficiency is getting lower.

Key Words: Distribution Transformer, The Load Imbalance, Efficiency

1. PENDAHULUAN

Listrik merupakan salah satu energi yang sangat diperlukan oleh semua manusia. Salah satunya di Indonesia, listrik menjadi kebutuhan yang utama untuk membantu segala jenis kegiatan manusia, untuk kehidupan sehari-hari ataupun untuk kebutuhan dalam industri. Indonesia saat ini sedang melangsungkan pembangunan di segala bidang, karena meningkatnya tingkat pembangunan di Indonesia maka pihak PLN dituntut untuk menjamin ketersediaan tenaga listrik yang stabil.

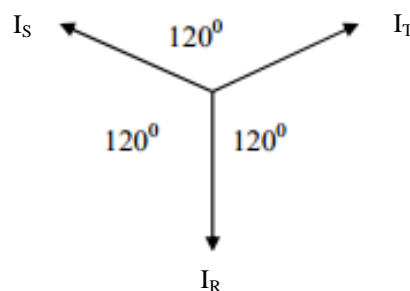
Meningkatnya pembangunan yang ada di Indonesia membuat beberapa daerah juga menjadi berkembang seperti Karanganyar. Meningkatnya pembangunan dan laju ekonomi yang semakin berkembang mengakibatkan energi listrik menjadi kebutuhan utama. Meningkatnya kegiatan masyarakat tersebut, mengakibatkan meningkatnya kebutuhan energi listrik. Oleh karena itu pendistribusian energi listrik dari gardu induk ke konsumen diusahakan stabil, berkelanjutan dan harus selalu dijaga agar dapat memenuhi kebutuhan konsumsi energi listrik.

Transformator atau yang biasa disingkat trafo adalah komponen utama yang ada di dalam pendistribusian energi listrik pada jaringan tegangan rendah. Transformator adalah suatu alat listrik yang dapat mengubah tenaga listrik AC pada satu frekuensi dan level tegangan ke daya AC pada frekuensi dan level tegangan lainnya dengan berdasarkan prinsip induksi-elektromagnet. Transformator itu sendiri terdiri atas sebuah inti yang dibuat dari besi berlapis dan dua buah lilitan kawat (kumparan), yaitu lilitan primer dan lilitan sekunder, lilitan utama atau lilitan *input* terhubung ke sumber listrik, dan lilitan sekunder atau lilitan *output* terhubung ke beban (Chapman, 2011). Prinsip kerja transformator ialah berdasarkan hukum Faraday dan hukum Ampere, yaitu medan magnet dapat menghasilkan arus listrik dan sebaliknya arus listrik dapat menghasilkan medan magnet. Transformator distribusi adalah trafo yang berfungsi untuk menurunkan tegangan 20 kV di sisi primer ke tegangan 380/220 V di sisi sekunder agar tegangan tersebut sesuai dengan kebutuhan konsumen dan dapat digunakan dengan aman.

Dalam proses pendistribusian energi listrik fenomena ketidakseimbangan selalu menjadi isu yang sangat penting, sistemnya muncul ketika perbedaan prioritas pada pelanggan (Bina, 2011). Daya yang disuplai ke dalam transformator tidak sama dengan daya keluaran. Beberapa daya *input* pada transformator hilang, ketika transformator memiliki komponen reaktif, dan ada juga pergeseran fasa antara tegangan *input* dan tegangan *output* yang mengakibatkan rugi-rugi

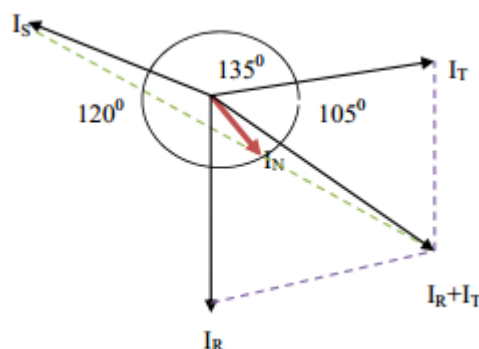
pada transformator (Mgunda, 2017). Hal tersebut terjadi karena ketidakserempakan waktu pemakaian beban listrik. Ketidakseimbangan fasa R,S,T inilah yang memicu timbulnya arus di penghantar netral, maka arus netral ini yang menyebabkan rugi-rugi pada transformator. Rugi-rugi yang ada pada transformator timbul dari dua sisi, yaitu sisi primer dan sisi sekunder. Ada beberapa komponen yang memicu timbulnya rugi-rugi pada transformator yaitu rugi inti besi, dan rugi tembaga. Rugi-rugi tersebut akan berpengaruh terhadap nilai efisiensi pada transformator. Bila ketidakseimbangan ini dibiarkan terus-menerus akan berdampak besar dan dapat merugikan pihak PT. PLN (Persero) ataupun konsumen (Kawihing, dkk, 2013).

Tiap fasa transformator dapat dikatakan seimbang jika memenuhi dua syarat, yaitu keadaan dimana ketiga vektor/tegangan sama besar, atau ketiga vektor saling membentuk sudut 120° . Lalu dapat dikatakan tidak seimbang yaitu bila satu atau dua syarat pada keadaan seimbang tadi tidak terpenuhi. Ada tiga kemungkinan ketika beban tidak seimbang, yaitu ketiga vektor tidak sama besar dan tidak membentuk sudut 120° satu dengan lainnya, ketiga vektor tidak sama besar tetapi membentuk sudut 120° satu dengan lainnya, ketiga vektor sama besar tetapi tidak membentuk sudut 120° satu dengan lainnya (Sentosa, dkk, 2006).



Gambar 1. Vektor diagram arus seimbang

Gambar 1 di atas menunjukkan vektor diagram dalam keadaan seimbang, dapat dilihat dari ketiga vektor sama besar atau ketiga vektor saling membentuk sudut 120° , dan penjumlahan ketiga vektor arus (I_R , I_S , dan I_T) adalah sama dengan nol sehingga arus netral (I_N) tidak ada yang muncul. Hal ini juga menunjukkan bahwa hukum Kirchoff berlaku, yaitu jumlah arus yang mengalir di semua sisi adalah nol (Dahlan, 2009).



Gambar 2. Vektor diagram arus tidak seimbang

Gambar 2 di atas menunjukkan vektor diagram dalam keadaan tidak seimbang, dapat dilihat dengan adanya arus netral (I_N), maka arus yang mengalir pada transformator tiga fasa tersebut adalah I_R , I_S , I_T , dan I_N . Arus netral ini adalah arus yang mengalir pada transformator karena keadaan beban tidak seimbang (Watiningsih, 2012).

Efisiensi transformator dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara daya listrik keluaran (*output*) dengan daya listrik masukan (*input*) yang masuk pada transformator tersebut. Setiap peralatan listrik atau mesin pasti memiliki efisiensi, efisiensi ditentukan dengan kerugian yang ditimbulkan oleh mesin dalam operasi normal. Efisiensi mesin berputar biasanya sekitar 50-60% karena adanya rugi-rugi gesekan dan angin. Tetapi transformator itu tidak mempunyai bagian yang berputar atau bergerak itu, oleh karena itu rugi-rugi tersebut tidak terjadi (Linsley, 2008). Idealnya efisiensi transformator itu sebesar 100%, namun pada keadaan yang sebenarnya efisiensi transformator selalu kurang dari 100%. Hal ini terjadi karena adanya rugi-rugi tembaga dan rugi-rugi inti besi. Sebagian besar kerugian distribusi muncul pada transformator distribusi. Efisiensi transformator maksimum dapat tercapai bila rugi-rugi tembaga sama dengan rugi-rugi inti besi (Bimbhra, 2011).

2. METODE

2.1 Rancangan penelitian

Agar setiap langkah dan tujuan dapat dilakukan dengan baik, penulis membuat rancangan penelitian dengan 3 tahapan sebagai berikut:

1) Studi literatur

Studi literatur adalah pengumpulan referensi dari buku-buku, penelitian sebelumnya, tinjauan pustaka, dan jurnal-jurnal yang berhubungan atau dapat mendukung teori untuk penyelesaian penelitian “Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Efisiensi Transformator Distribusi PT. PLN (Persero) Rayon Palur Karanganyar”.

2) Pengumpulan data

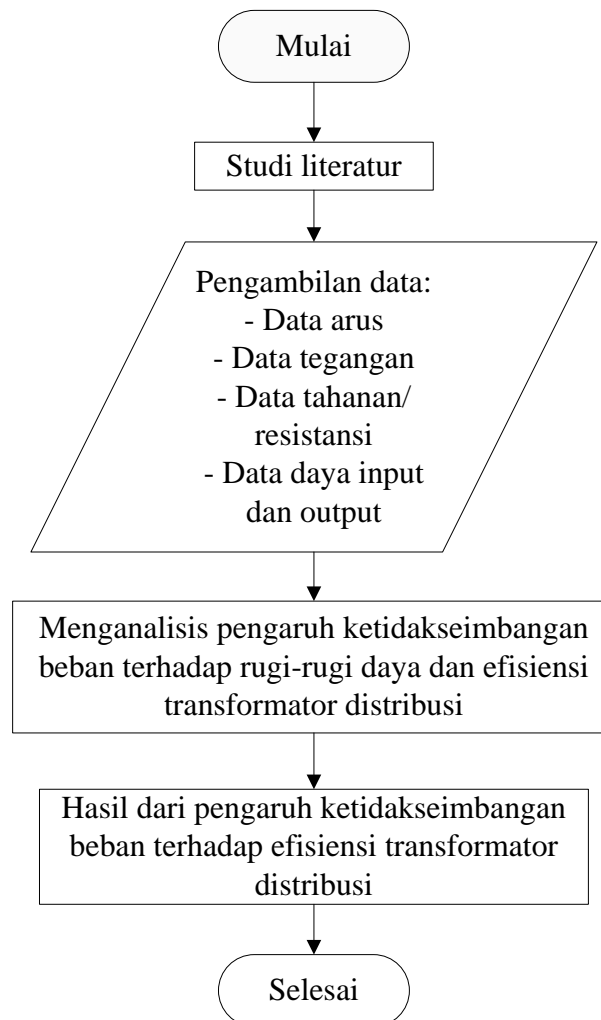
Penulis mengumpulkan data penelitian yang ada di PT. PLN (Persero) APJ Surakarta untuk data yang ada di PT. PLN (Persero) Rayon Palur Karanganyar. Data diperoleh dengan cara mengikuti prosedur yang ada di instansi, yaitu dengan mengirimkan surat izin untuk pengambilan data dari pihak Universitas. Lalu menunggu balasan dari pihak instansi, setelah mendapat surat balasan baru dilakukan pengambilan data sesuai kebutuhan penelitian. Data yang dibutuhkan yaitu berupa

data transformator distribusi yang terpasang, dan *nameplate* transformator distribusi tersebut.

3) Analisis Data

Analisis data dilakukan setelah proses pengambilan data di PT. PLN (Persero) APJ Surakarta untuk data yang ada di PT. PLN (Persero) Rayon Palur Karanganyar. Data-data yang didapatkan diubah kebentuk matematis dan dianalisis menggunakan persamaan yang telah ada. Dalam menganalisis data yang didapatkan itu tidak menggunakan metode apapun, karena perhitungan yang digunakan atau dipakai adalah perhitungan biasa.

2.2 Flowchart Penelitian



Gambar 3. *Flowchart* Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan terhadap data yang telah didapat dari PT. PLN (Persero) Rayon Palur Karanganyar ini dilakukan dengan cara perhitungan manual, karena persamaan matematis yang digunakan hanya persamaan biasa yang bisa diselesaikan dengan cara manual tanpa menggunakan metode-metode tertentu.

3.1 Data Transformator Distribusi

3.1.1 Data Transformator Pertama

Nama Transformator : Trafindo

Daya : 100 kVA

Tegangan : 400 Volt

Kabel *input* : AAAC 70 mm², dengan R : 0,582 Ω/km

Kabel *output* : LVTC 70 mm², dengan R : 0,453 Ω/km

Cos φ : 0,85

Rugi inti besi : 210 Watt

Rugi tembaga : Siang 219 Watt, Malam 486 Watt

Tabel 1. Hasil Pengukuran Transformator Pertama

	Siang hari	Malam hari
Arus fasa R (A)	19,1	25,7
Arus fasa S (A)	20,3	37,2
Arus fasa T (A)	18,9	23,8
Arus fasa N (A)	12,1	22,7
Tegangan fasa RS (V)	377,14	382,33
Tegangan fasa RT (V)	377,14	382,33
Tegangan fasa ST (V)	377,14	382,33

Dari tabel di atas jelas terlihat adanya ketidakseimbangan beban yang terjadi di masing-masing fasa pada transformator distribusi pertama di rayon Palur Karanganyar.

3.1.2 Data Transformator Kedua

Nama Transformator : Starlite

Daya : 100 kVA

Tegangan : 400 Volt

Kabel *input* : AAAC 70 mm², dengan R : 0,582 Ω/km

Kabel *output* : LVTC 70 mm², dengan R : 0,453 Ω/km
 Cos φ : 0,85
 Rugi inti besi : 210 Watt
 Rugi tembaga : Siang 172 Watt, Malam 163 Watt

Tabel 2. Hasil Pengukuran Transformator Kedua

	Siang hari	Malam hari
Arus fasa R (A)	14,5	12,3
Arus fasa S (A)	22,6	25,2
Arus fasa T (A)	14,6	12,8
Arus fasa N (A)	11	17
Tegangan fasa RS (V)	378,87	380,6
Tegangan fasa RT (V)	378,87	380,6
Tegangan fasa ST (V)	378,87	380,6

Dari tabel di atas jelas terlihat adanya ketidakseimbangan beban yang terjadi di masing-masing fasa pada transformator distribusi kedua di rayon Palur Karanganyar.

3.1.3 Data Transformator Ketiga

Nama Transformator : Unindo

Daya : 100 kVA

Tegangan : 400 Volt

Kabel *input* : AAAC 70 mm², dengan R : 0,582 Ω/km

Kabel *output* : LVTC 70 mm², dengan R : 0,453 Ω/km

Cos φ : 0,85

Rugi inti besi : 300 Watt

Rugi tembaga : Siang 117 Watt, Malam 143 Watt

Tabel 3. Hasil Pengukuran Transformator Ketiga

	Siang hari	Malam hari
Arus fasa R (A)	15,2	9,9
Arus fasa S (A)	12,8	19,2
Arus fasa T (A)	14,6	18
Arus fasa N (A)	5	12,4

Tegangan fasa RS (V)	378,87	375,41
Tegangan fasa RT (V)	378,87	375,41
Tegangan fasa ST (V)	378,87	375,41

Dari tabel di atas jelas terlihat adanya ketidakseimbangan beban yang terjadi di masing-masing fasa pada transformator distribusi ketiga di rayon palur karanganyar.

3.2 Analisis Data

3.2.1 Arus Beban Penuh

Daya transformator bila ditinjau dari sisi tegangan tinggi (primer) dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \dots \dots \dots (1)$$

Dengan :

S : Daya transformator (VA)

V : Tegangan sisi primer transformator (V)

I : Arus jala-jala (A)

Menentukan arus beban penuh (*full load*) dapat menggunakan rumus :

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} \dots \dots \dots (2)$$

Dengan :

I_{FL} : Arus beban penuh (A)

S : Daya transformator (VA)

V : Tegangan sisi sekunder transformator (V)

Contoh perhitungan arus beban penuh transformator pertama :

$$I_{FL} = \frac{100.000 \text{ VA}}{\sqrt{3} \times 400 \text{ V}} = 144,5 \text{ A}$$

$$I_{\text{rata-rata siang}} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} = \frac{19,1 \text{ A} + 20,3 \text{ A} + 18,9 \text{ A}}{3} = 19,43 \text{ A}$$

$$I_{\text{rata-rata malam}} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} = \frac{25,7 \text{ A} + 37,2 \text{ A} + 23,8 \text{ A}}{3} = 28,90 \text{ A}$$

Jadi perhitungan persentase beban adalah :

Persentase beban siang hari

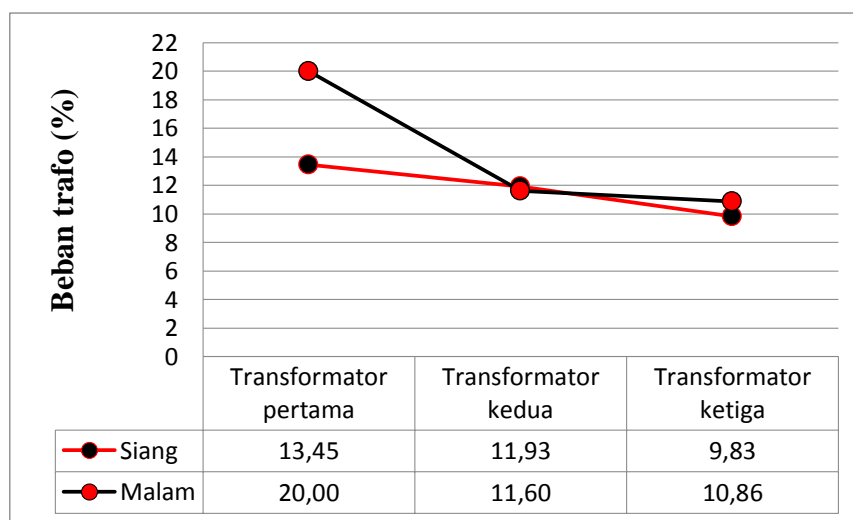
$$\frac{I_{\text{rata-rata siang}}}{I_{FL}} \times 100\% = \frac{19,43 \text{ A}}{144,5 \text{ A}} \times 100\% = 13,45\%$$

Persentase beban malam hari

$$\frac{I_{\text{rata-rata malam}}}{I_{\text{FL}}} \times 100\% = \frac{28,90 \text{ A}}{144,5 \text{ A}} \times 100\% = 20\%$$

Tabel 4. Hasil analisis beban pada ketiga transformator

Waktu	Transformator pertama		Transformator kedua		Transformator ketiga	
	$I_{\text{rata-rata}}$ (A)	Persentase (%)	$I_{\text{rata-rata}}$ (A)	Persentase (%)	$I_{\text{rata-rata}}$ (A)	Persentase (%)
Siang	19,43	13,45	17,23	11,93	14,20	9,83
Malam	28,90	20,00	16,77	11,60	15,70	10,86



Gambar 4. Grafik pembebanan ketiga transformator

Tabel 4 dan grafik di atas menunjukkan bahwa beban tertinggi terjadi pada transformator pertama ketika malam hari yaitu sebesar 20%, dan beban terendah terjadi pada transformator ketiga ketika siang hari yaitu sebesar 9,83%.

3.2.2 Ketidakseimbangan beban dan rugi daya

Dengan menggunakan koefisien keseimbangan beban yaitu $a = b = c = 1$, maka arus rata-rata adalah arus fasa dalam keadaan seimbang. Jadi untuk mengetahui berapa besar ketidakseimbangan beban digunakan persamaan sebagai berikut :

$$I_R = a \cdot I_{\text{rata-rata}} \quad \text{jadi} \quad a = \frac{I_R}{I_{\text{rata-rata}}} \quad \dots \dots \dots (3)$$

$$I_S = b \cdot I_{\text{rata-rata}} \quad \text{jadi} \quad b = \frac{I_S}{I_{\text{rata-rata}}} \quad \dots \dots \dots (4)$$

$$I_T = c \cdot I_{\text{rata-rata}} \quad \text{jadi} \quad c = \frac{I_T}{I_{\text{rata-rata}}} \quad \dots \dots \dots (5)$$

Contoh perhitungan ketidakseimbangan beban transformator pertama :

Ketidakseimbangan beban siang hari

$$a = \frac{I_R}{I_{\text{rata-rata}}} = \frac{19,1 \text{ A}}{19,43 \text{ A}} = 0,98$$

$$b = \frac{I_S}{I_{\text{rata-rata}}} = \frac{20,3 \text{ A}}{19,43 \text{ A}} = 1,04$$

$$c = \frac{I_T}{I_{\text{rata-rata}}} = \frac{18,9 \text{ A}}{19,43 \text{ A}} = 0,97$$

$$\begin{aligned} \text{Persentase ketidakseimbangan} &= \frac{\{|a - 1| + |b - 1| + |c - 1|\}}{3} \times 100\% \\ &= \frac{\{|0,98 - 1| + |1,04 - 1| + |0,97 - 1|\}}{3} \times 100\% = 3\% \end{aligned}$$

Ketidakseimbangan beban malam hari

$$a = \frac{I_R}{I_{\text{rata-rata}}} = \frac{25,7 \text{ A}}{28,90 \text{ A}} = 0,89$$

$$b = \frac{I_S}{I_{\text{rata-rata}}} = \frac{37,2 \text{ A}}{28,90 \text{ A}} = 1,29$$

$$c = \frac{I_T}{I_{\text{rata-rata}}} = \frac{23,8 \text{ A}}{28,90 \text{ A}} = 0,82$$

$$\begin{aligned} \text{Persentase ketidakseimbangan} &= \frac{\{|a - 1| + |b - 1| + |c - 1|\}}{3} \times 100\% \\ &= \frac{\{|0,89 - 1| + |1,29 - 1| + |0,82 - 1|\}}{3} \times 100\% = 19,33\% \end{aligned}$$

Rugi-rugi Daya

$$\Sigma \text{ Rugi} = P_i + P_{\text{cu}} + P_N \dots\dots\dots (6)$$

Dengan :

$\Sigma \text{ Rugi}$: Rugi-rugi daya (kW)

P_i : Rugi inti besi (kW)

P_{cu} : Rugi tembaga (kW)

P_N : Rugi penghantar netral (kW)

Contoh perhitungan rugi-rugi daya pada transformator pertama :

Pada siang hari :

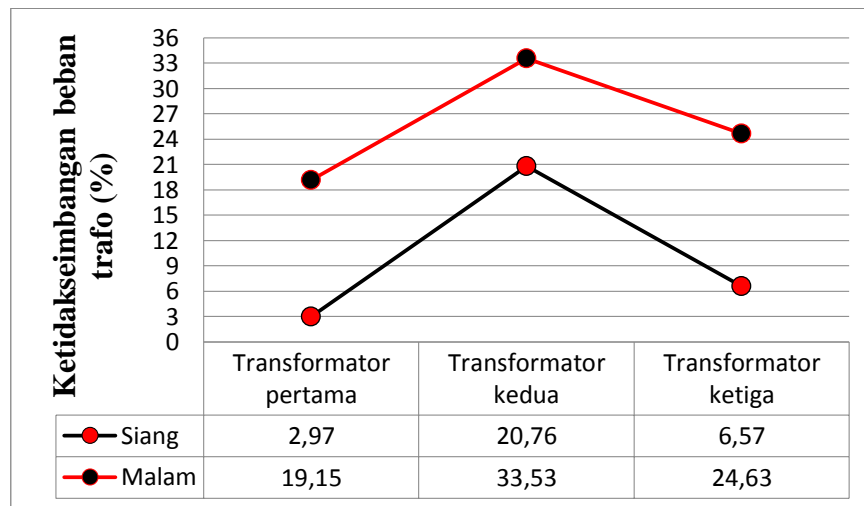
$$\Sigma \text{ Rugi} = P_i + P_{\text{cu}} + P_N = 0,21 \text{ kW} + 0,22 \text{ kW} + 0,07 \text{ kW} = 0,50 \text{ kW}$$

Pada malam hari :

$$\Sigma \text{ Rugi} = P_i + P_{\text{cu}} + P_N = 0,21 \text{ kW} + 0,49 \text{ kW} + 0,23 \text{ kW} = 0,93 \text{ kW}$$

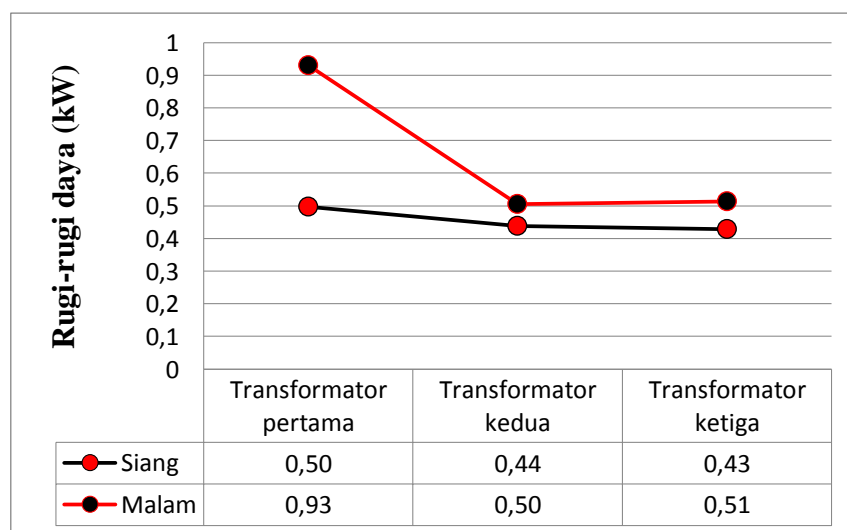
Tabel 5. Hasil analisis ketidakseimbangan beban dan rugi daya pada ketiga transformator

Waktu	Transformator pertama		Transformator kedua		Transformator ketiga	
	Ketidakseimbangan beban (%)	Rugi-rugi daya (kW)	Ketidakseimbangan beban (%)	Rugi-rugi daya (kW)	Ketidakseimbangan beban (%)	Rugi-rugi daya (kW)
Siang	2,97	0,50	20,76	0,44	6,57	0,43
Malam	19,15	0,93	33,53	0,50	24,63	0,51



Gambar 5. Grafik ketidakseimbangan beban ketiga transformator

Tabel 5 dan gambar grafik di atas menunjukkan bahwa persentase ketidakseimbangan beban tertinggi terjadi pada transformator kedua ketika malam hari yaitu sebesar 33,53%, dan ketidakseimbangan beban terendah terjadi pada transformator pertama ketika siang hari yaitu sebesar 2,97%.



Gambar 6. Grafik rugi-rugi daya ketiga transformator

Tabel 5 dan gambar grafik di atas menunjukkan bahwa rugi-rugi daya tertinggi terjadi pada transformator pertama ketika malam hari yaitu sebesar 0,93 kW, dan rugi-rugi daya terendah terjadi pada transformator ketiga ketika siang hari yaitu sebesar 0,43 kW.

3.2.3 Efisiensi

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots (7)$$

Dengan :

η : Efisiensi

P_{out} : Daya keluar (kW)

P_{in} : Daya masuk (kW)

Contoh perhitungan efisiensi pada transformator pertama :

Pada siang hari

$$\begin{aligned} P_{out} &= (a + b + c)V \times I \times \cos\phi = (0,98 + 1,04 + 0,97) \times 377,14 \text{ V} \times 19,43 \text{ A} \times 0,85 \\ &= 18623 \text{ Watt} \\ &= 18,62 \text{ kW} \end{aligned}$$

Jadi efisiensi pada siang hari adalah:

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{P_{out}}{P_{out} + \text{rugi daya}} \times 100\% = \frac{18,62 \text{ kW}}{18,62 \text{ kW} + 0,50 \text{ kW}} \times 100\% \\ &= 97,38\% \end{aligned}$$

Pada malam hari

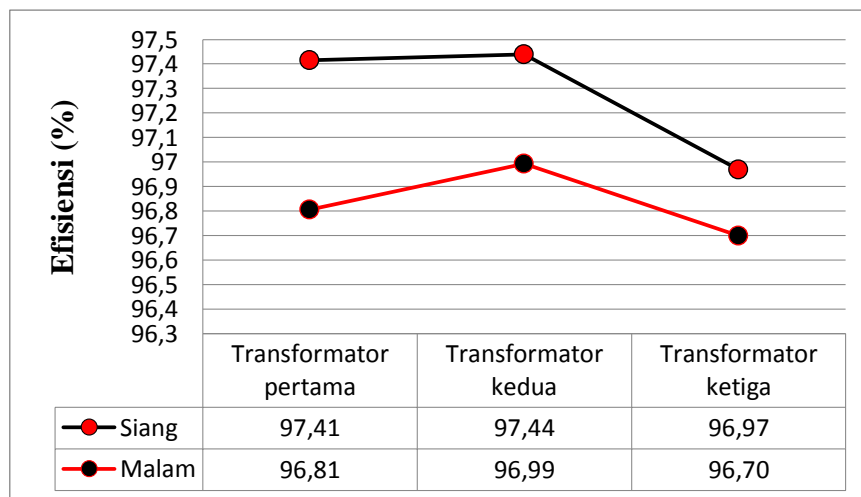
$$\begin{aligned} P_{out} &= (a + b + c)V \times I \times \cos\phi = (0,89 + 1,29 + 0,82) \times 382,33 \text{ V} \times 28,90 \text{ A} \times 0,85 \\ &= 28175 \text{ Watt} \\ &= 28,17 \text{ kW} \end{aligned}$$

Jadi efisiensi pada malam hari :

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{P_{out}}{P_{out} + \text{rugi daya}} \times 100\% = \frac{28,17 \text{ kW}}{28,17 \text{ kW} + 0,93 \text{ kW}} \times 100\% \\ &= 96,80\% \end{aligned}$$

Tabel 6. Hasil analisis efisiensi pada ketiga transformator

Waktu	Transformator pertama	Transformator kedua	Transformator ketiga
	η (%)	η (%)	η (%)
Siang	97,41	97,44	96,97
Malam	96,81	96,99	96,70



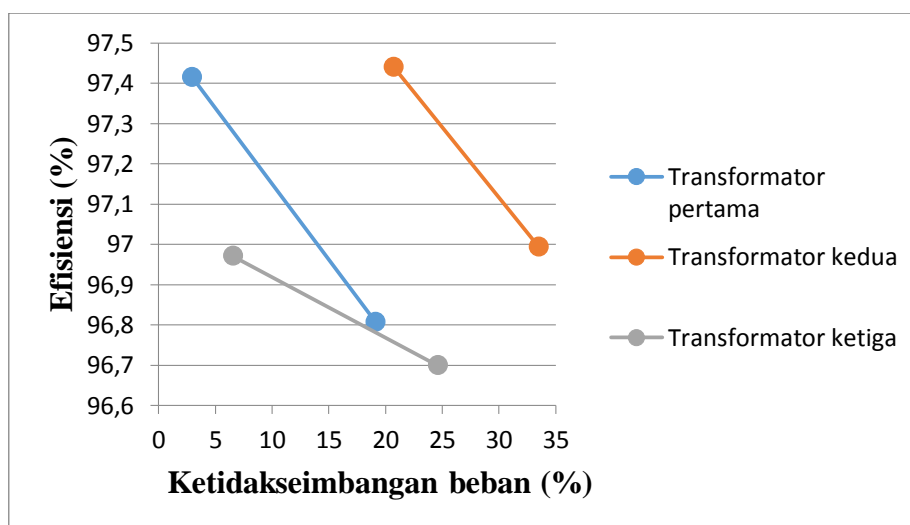
Gambar 7. Grafik efisiensi ketiga transformator

Tabel 6 dan grafik di atas menunjukkan bahwa efisiensi transformator tertinggi terjadi pada transformator kedua ketika siang hari yaitu sebesar 97,44%, dan efisiensi transformator terendah terjadi pada transformator ketiga ketika malam hari yaitu sebesar 96,70%.

3.2.4 Pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap efisiensi

Tabel 7. Hasil analisis ketidakseimbangan beban dan efisiensi ketiga transformator

Waktu	Transformator pertama		Transformator kedua		Transformator ketiga	
	Ketidak seimbangan beban (%)	Efisiensi (%)	Ketidak seimbangan beban (%)	Efisiensi (%)	Ketidak seimbangan beban (%)	Efisiensi (%)
Siang	2,97	97,41	20,76	97,44	6,57	96,97
Malam	19,15	96,81	33,53	96,99	24,63	96,70



Gambar 8. Grafik pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap efisiensi

Tabel 7 dan grafik di atas menunjukkan bahwa ketika ketidakseimbangan beban semakin tinggi maka rugi-rugi daya yang terjadi juga semakin tinggi, dan efisiensinya semakin rendah. Ketika ketidakseimbangan beban semakin rendah maka rugi-rugi daya yang terjadi juga semakin rendah, dan efisiensinya semakin tinggi.

4. PENUTUP

Berdasarkan perhitungan dan pembahasan tentang analisis pengaruh ketidakseimbangan beban pada transformator distribusi yang telah dijabarkan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan bahwa :

1. Transformator distribusi yang terdapat di Rayon Palur Karanganyar dalam keadaan tidak seimbang, karena arus yang mengalir dimasing-masing fasa berbeda.
2. Ketidakseimbangan beban tertinggi terjadi pada transformator kedua ketika siang hari yaitu sebesar 18,17%, dan ketidakseimbangan beban terendah terjadi pada transformator ketiga ketika malam hari yaitu sebesar 2,43%.
3. Rugi-rugi daya tertinggi terjadi pada transformator pertama ketika malam hari yaitu sebesar 4,72 kW, dan rugi-rugi daya terendah terjadi pada transformator kedua ketika siang hari yaitu sebesar 0,84 kW.
4. Efisiensi transformator tertinggi terjadi pada transformator kedua ketika siang hari yaitu sebesar 97,51%, dan efisiensi transformator terendah terjadi pada transformator pertama ketika malam hari yaitu sebesar 94,90%.
5. Ketika ketidakseimbangan beban semakin tinggi maka rugi-rugi daya transformator semakin tinggi, dan efisiensinya semakin rendah.

PERSANTUNAN

Dalam pembuatan artikel publikasi ini penulis juga berterimakasih kepada semua pihak yang telah ikut membantu penulis saat proses pembuatan tugas akhir ini.

1. Penulis mengucapkan rasa syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan banyak rahmat dan karunia-Nya sehingga dalam proses tugas akhir ini dibuat penulis dapat menyelesaikannya dengan lancar.
2. Terima kasih kepada bapak dan ibu yang senantiasa memberikan restu dan banyak dukungan berupa doa, motivasi, dan materi kepada penulis hingga dapat menyelesaikannya dengan baik.
3. Bapak Agus Supardi, S.T,M.T selaku dosen pembimbing yang selalu memberikan motivasi, ilmu, dan mau membimbing hingga proses tugas akhir ini selesai.

4. Dosen jurusan teknik elektro yang telah memberikan banyak ilmu pengetahuan dalam bidang elektro sehingga penulis mendapat refesensi yang cukup.
5. Pihak APJ Surakarta dan PT. PLN (Persero) Rayon Palur Karanganyar yang telah membantu dan memberikan data untuk menyelesaikan penelitian tugas akhir ini.
6. Terima kasih kepada teman-teman angkatan 2014 Teknik Elektro UMS yang selalu memberikan banyak dukungan kepada penulis.
7. Terima kasih kepada teman-teman kontrakan atas makian dan hinaan yang menjadi motivasi bagi penulis.
8. Terima kasih kepada astuti yang telah banyak memberi support untuk penulis hingga saat ini.

Daftar Pustaka

- Aprilian P. Kawihiing, dkk. 2013, *Pemerataan Beban Transformator Pada Saluran Distribusi Sekunder*, ejournal.unsrat.ac.id.
- Bimbhra, P.S., 2011, *Electrical Machinery Theory, Performance And Applications 7th Edition*, Publisher: Khanna Publishers, ISBN: 9788174091734, 8174091734.
- Bina Tavakoli, Kashef A, 2011, *Three-phase unbalance of distribution systems: Complementary analysis and experimental case study*, International Journal of Electrical Power & Energy System.
- Chapman Stephen, 2011, *Electric Machinery Fundamentals 5th (fifth) Edition*, McGraw-Hill, a business unit of The McGraw-Hill Companies, ISBN 978-0-07-352954-7.
- Linsley Trevor, 2008, *Advance electrical installation work fifth edition*, Routledge, ISBN 0750687525, 9780750687522.
- Mgunda McPharlen Chipekwe, 2017, *Optimization of Power Transformer Design: Losses, Voltage Regulation and Tests*, Journal of Power and Energy Engineering, Vol.05 No.02, Article ID:74303,30 pages.
- Moh. Dahlan, 2009, *Akibat Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses Pada Transformator Distribusi*, eprint.umk.ac.id.
- Sentosa, dkk, 2006, *Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses pada Trafo Distribusi PT. PLN (Persero) Surabaya*, puslit.petra.ac.id.
- Tri Watiningsih, 2012, *Pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap arus netral dan losses pada trafo distribusi*, ejournal.unwiku.ac.id.